

# Análisis de la fracturación y campos de paleoesfuerzos en el centro-oeste de la Península Ibérica

L. Antón, A. Muñoz y G. de Vicente

Dpto. de Geodinámica, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, José Antonio Novais s/n, 28040 Madrid. loreant@geo.ucm.es

## ABSTRACT

*The Tormes Dome is a granitic massif emplaced during the Hercinian orogeny and later deformed by several posthercynian fracturation episodes. Three main paleostress fields have been obtained from stress inversion of 1375 fault-slip data collected throughout the study area. The maximum horizontal stress ( $S_{HMAX}$ ) are oriented N-S, NE-SW and E-W with extensional and strike-slip stress regimes. Difficulties to determine age dating of the three paleostress fields made necessary to enlarge the study area to the surrounding Cenozoic basins borders. In addition, geochronological information obtained from K-Ar dating of fault gouges collected in the Tormes Dome has been used to establish the relative chronology of the three tectonic episodes from field data and determine their activity periods from Mesozoic to present time. An important result is that there is no relevant brittle tectonic activity associated with the recent NW-SE stress field in the western peninsula from Upper Miocene to the present times and some field evidences, as well as two focal mechanisms of earthquakes occurred in the area seem that in the Tormes Dome the recent stress field present an  $S_{HMAX}$  oriented N-S.*

**Key words:** Tectonic events, palaeostress analysis, Tormes dome.

## SITUACIÓN Y ENCUADRE GEOLÓGICO GENERAL

La zona de estudio se centra fundamentalmente sobre la megaestructura hercínica conocida como Domo del Tormes, situada en el NO del Macizo Hespérico, dentro de la Zona Centro Ibérica (Julivert *et al.*, 1972), en la penillanura salmantino-zamorana, entre las cuencas terciarias del Duero y Ciudad Rodrigo y cerca del límite entre los dominios de pliegues verticales y pliegues acostados (Díez Balda *et al.*, 1990).

Esta macroestructura agrupa una serie de granitoides de origen predominantemente anatóctico, limitados al N por la Cizalla de Pereruela y materiales precámbricos (Esquisto Grauváquico), al NE y E por sedimentos de la Cuenca del Duero y al S por la zona de Cizalla de Juzbado, banda de deformación dúctil tardihercínica de dirección E-O a OSO-ENE (Fig. 1).

Desde el punto de vista estructural, la zona presenta una tectónica compleja, con deformación polifásica principalmente desarrollada durante la Orogenia Hercínica y posteriormente afectada por la deformación alpina.

## ANÁLISIS DE PALEOESFUERZOS

A partir de datos mesoestructurales de campo y mediante la aplicación de Métodos de Análisis Poblacional de Fallas, se han obtenido 65 soluciones tensoriales que explican el movimiento de 1159 pares falla/estría (84.3% de

las medidas tomadas en campo). Agrupando los tensores individuales obtenidos en cada estación en función de los datos de campo, geometría y cinemática de las estructuras que explican y criterios de coaxialidad entre los ejes principales de esfuerzo, se han definido tres campos de paleoesfuerzos, con direcciones de máxima compresión horizontal E-O, NE-SO y N-S. En los tres casos se reconocen regímenes de deformación de tipo extensional ( $\sigma_1$  en la vertical) y de desgarre ( $\sigma_2$  en la vertical).

La asignación de una edad de actuación a los eventos definidos ha requerido ampliar el estudio a los bordes de las cuencas cenozoicas que limitan el Domo del Tormes, incorporando al análisis de paleoesfuerzos una serie de estaciones en materiales paleógenos que han permitido definir la orientación del tensor de esfuerzos para ese periodo. Para completar la información obtenida por esta vía, se ha recurrido a la datación absoluta mediante K-Ar de varias muestras de arcilla de falla recolectadas en campo. Las edades obtenidas mediante geocronología se han relacionado con los tensores de paleoesfuerzo de la estación correspondiente, apoyando así la datación de los campos de paleoesfuerzos.

## RESULTADOS OBTENIDOS

La descripción de los campos de paleoesfuerzos y las estructuras asociadas se realiza siguiendo el orden cronológico establecido.



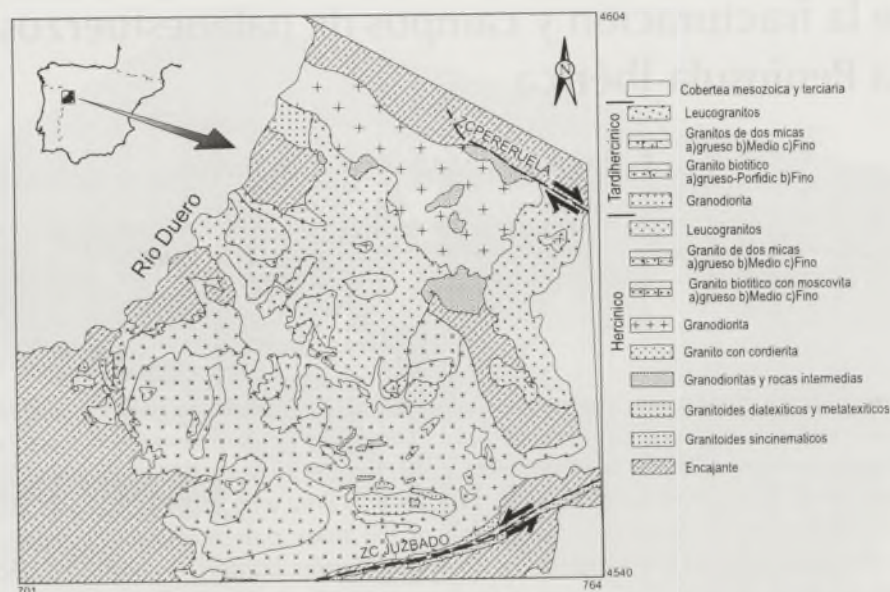


FIGURA 1. Situación geográfica y geológica del Domo del Tormes.

### Campo de Paleoesfuerzos E-O

El campo de paleoesfuerzos E-O se ha obtenido en 12 estaciones de medida con el 50% de las soluciones correspondientes a tensores en régimen de desgarre y el otro 50% a tensores de tipo extensional. Presenta direcciones de acortamiento entre N73°E y N133°E, en ambos casos. Las fallas compatibles con la cinemática de este campo de paleoesfuerzos son mayoritariamente de tipo normal-direccional y

desgarres con orientaciones entre N70°E y N150°E. En el conjunto del área, estas orientaciones corresponden fallas de orientación E-O a SSE que están compartimentadas por grandes estructuras N-NE (Fig. 2).

La datación por K-Ar de una muestra de arcilla de falla relacionada con esta etapa aporta una edad de  $210 \pm 11$  Ma, lo que indica que era activo durante el Triásico superior.

Las pautas cinemáticas asociadas al campo de paleoesfuerzos E-O coinciden con las últimas etapas de deformación hercínica ( $D_4$ ) que se relacionan con una compresión E-O, reconocible en la fábrica de los granitos tardíos (Villar de Ciervo, Brincones...). Al emplazamiento de los macizos graníticos tardíos se les asigna una edad Pérmico inferior. La edad, Triásico superior, obtenida en la arcilla de falla, responde a una deformación en condiciones frágiles; por lo que se plantea la hipótesis de que la dirección de compresión E-O, relacionada con las últimas etapas de deformación hercínica, permaneciera activa hasta el Triásico superior, produciendo la deformación frágil asociada al campo de paleoesfuerzos E-O registrada en el área.

### Campo de Paleoesfuerzos NE-SO

El campo de paleoesfuerzos NE-SO se ha obtenido en 16 estaciones y presenta soluciones tensoriales con direcciones de compresión entre N21°E y N50°E; tanto de tipo extensional como de desgarre. Las fallas explicadas por este campo de paleoesfuerzos son de tipo normal-direccional a normal con orientaciones de NNO a E-O y de tipo desgarre (NNO-NE con sentido de movimiento dextroso, y E-O a NE con sentido de movimiento sinistroso). Desde un punto de vista macroestructural estas orientaciones corresponden grandes fallas de orientación N-S a NE-SO, muy abundantes en el área de estudio, y algunas de las fallas E-O, de

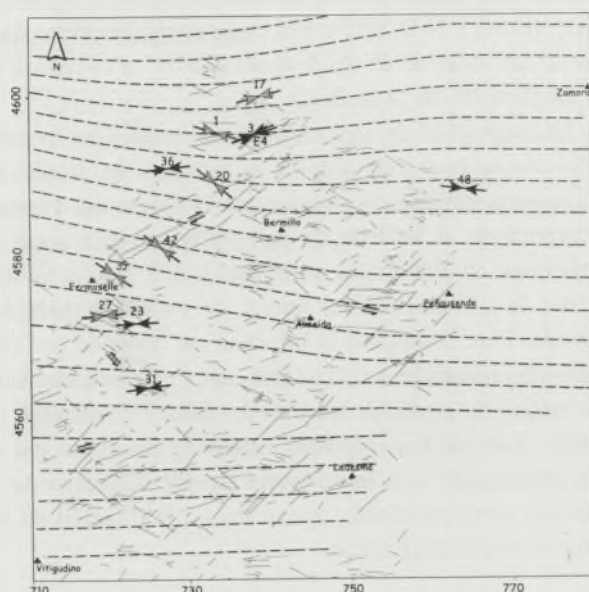


FIGURA 2. Campo de paleoesfuerzos E-O, mapa de trayectorias del máximo esfuerzo horizontal. Los tensores y trayectorias están superpuestos sobre las fallas con orientaciones compatibles. En negro los tensores de tipo desgarre y en gris los extensionales. Coord UTM H29, en Km.



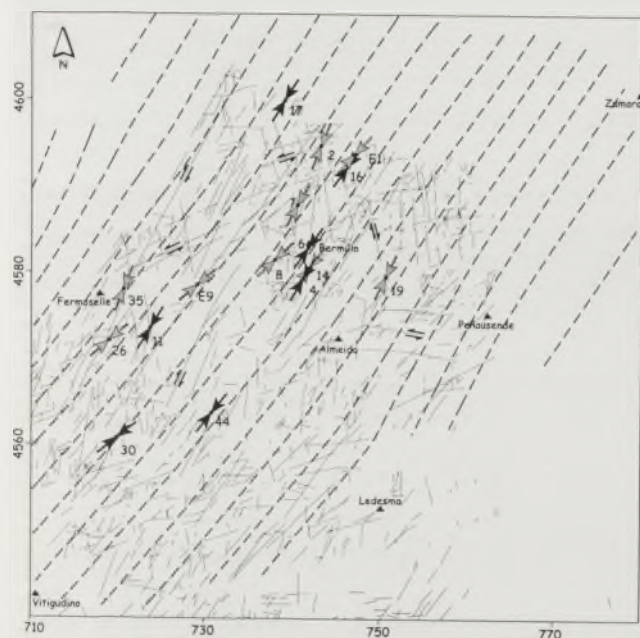


FIGURA 3. Campo de paleoesfuerzos NE-SO, mapa de trayectorias del máximo esfuerzo horizontal. Los tensores y trayectorias están superpuestos sobre las fallas con orientaciones compatibles. En negro los tensores de tipo desgarre y en gris los extensionales. Coord UTM H29, en Km.

menor tamaño, compatibles con el campo de paleoesfuerzos anterior (Fig. 3).

La datación geocronológica por K-Ar de dos muestras de arcilla de falla asociadas a este evento (Antón, 2003) así como los resultados obtenidos en zonas próximas (Sistema Central) mediante el estudio de trazas de fisión en apatitos (De Bruijne, 2001) indican que la compresión NE-SO fue activa durante el Cretácico. Adicionalmente, el hecho de que las orientaciones de las fallas que afectan a la alterita mesozoica coincidan con las de las fallas compatibles con este campo de paleoesfuerzos, permitiría afirmar que esta orientación de compresión continuaba siendo activa a comienzos del Cenozoico (Antón, 2003).

#### Campo de Paleoesfuerzos N-S

El campo de paleoesfuerzos N-S es el que se ha obtenido en un número mayor de estaciones (37). Al igual que en los casos anteriores, la compresión N-S está representada por tensores en régimen de desgarre, extensionales y por un único tensor de tipo compresivo. En todos los casos, las direcciones de acortamiento oscilan entre NNO-NNE (Fig. 4).

Las fallas compatibles con este campo de paleoesfuerzos son de tipo normal, normal-direccional y desgarres, con orientaciones NO-SE y sentido de movimiento dextroso, y NE-SO, con sentido de movimiento sinistroso. Estas orientaciones corresponden a las grandes estructuras de orientación N-S a NE-SO que compartimentan las fallas E-O a SSE, compatibles con el campo de paleoesfuerzos E-O.

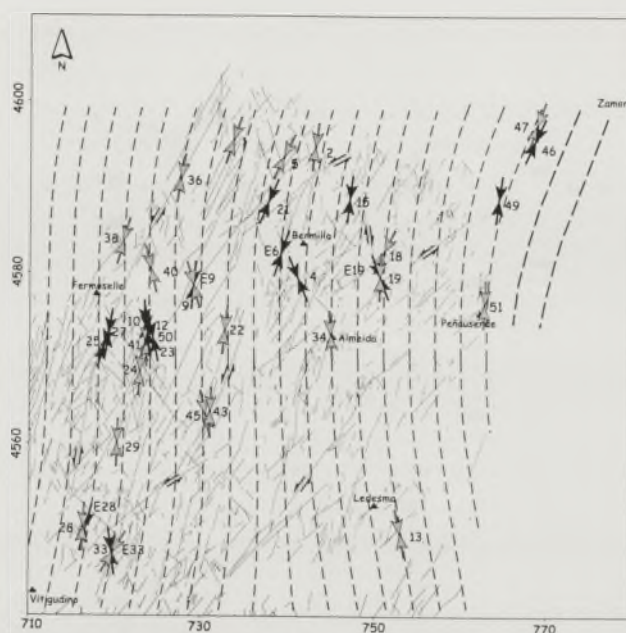


FIGURA 4. Campo de paleoesfuerzos N-S, mapa de trayectorias del máximo esfuerzo horizontal. Los tensores y trayectorias están superpuestos sobre las fallas con orientaciones compatibles. En negro los tensores de tipo desgarre y en gris los extensionales. Coord UTM H29, en Km.

La determinación de la edad de actuación de este campo de paleoesfuerzos se ha apoyado, principalmente, en una serie de estaciones cinemáticas cuyas medidas se habían tomado sobre materiales cenozoicos del borde oeste de la Cuenca del Duero (Antón, 2003). En estas estaciones, el movimiento de las fallas medidas en campo, asociadas a la compresión N-S, se registraba sobre una silicificación datada en 58 Ma (Paleoceno superior). Éstas junto con otras evidencias de actividad tectónica cenozoica en el área indican que, en el Domo del Tormes, el campo de paleoesfuerzos N-S ha sido activo durante parte del Paleógeno y hasta el Pleistoceno.

#### DEFORMACIÓN ACTUAL

La sismicidad registrada en el Domo del Tormes pone de manifiesto la existencia de una cierta actividad tectónica. Para su análisis se ha tenido en cuenta, la información procedente del Catálogo de Sismos Próximos del IGN y dos mecanismos focales, calculados por el Instituto Andaluz de Geofísica para dos terremotos ocurridos en enero de 2003, con magnitudes de 3.8 y 4.2 (IAG, 2003).

Los mecanismos focales obtenidos (IAG, 2003) son de tipo desgarre y los resultados del Modelo de Deslizamiento (Capote *et al.*, 1991) indican la actividad de fallas de orientación N187°E y N192°E, con sentido de movimiento sinistroso (Fig. 5) para direcciones de máxima compresión horizontal ( $D_{ey}$ ) N2°E y N4°E.

Estos resultados apoyan la idea de que en el Domo del Tormes el campo actual de esfuerzos tiene una orientación





FIGURA 5. Situación de los terremotos de las Series 2001 y 2003. Mecanismos focales de dos de los terremotos ocurridos el 12 y 23 de enero de 2003. Las líneas discontinuas representan fallas y/o lineamientos estructurales y posibles alineaciones de terremotos.

de máxima compresión horizontal N-S; coherente con el plan cinemático del campo de paleoesfuerzos N-S, activo durante el Terciario, y con las orientaciones de compresión/extensión deducidas a partir del análisis de las migraciones fluviales, para el Neógeno (Antón, 2003).

## CONCLUSIONES

En la zona de estudio se han definido tres campos de paleoesfuerzos coherentes con la evolución geodinámica de la Placa Ibérica desde el Triásico hasta la actualidad. En lo que a la deformación frágil se refiere, la compresión E-O estaría relacionada con las últimas etapas de deformación hercínica ( $D_4$ ), en un contexto frágil. El campo de paleoesfuerzos NE-SO se relaciona con las primeras etapas alpinas, que tuvieron lugar en el Cretácico. Esta misma dirección de compresión se mantendría hasta el Paleógeno inferior-medio. Posteriormente, la orientación de  $\sigma_{Hmax}$  iría rotando en sentido antihorario hasta situarse N-S, probablemente a partir del Eoceno medio-superior y esta misma orientación de compresión parece mantenerse hasta la actualidad, como evidencian los mecanismos focales de los terremotos ocurridos al NE de Almeida (Fig. 5).

## REFERENCIAS

- Antón, L. (2003): *Análisis de la fracturación en un área granítica intraplaca: el Domo del Tormes*. Tesis Doctoral Universidad Complutense de Madrid, 195 p.
- Capote, R., González Casado, J. M. y De Vicente, G. (1987) Análisis poblacional de la fracturación hercínica en el sector central del Sistema Central Ibérico. *Cuadernos do Laboratorio Xeoloxico de Laxe*, 11: 305-311.
- De Bruijne, CH. (2001): *Denudation, intraplate tectonics and far field effects; an integrated apatite fission track study in central Spain*. PhD. Vrije Universiteit. Amsterdam, 164p.
- Díez Balda, M.A., Vegas, R. y Gonzalez Lodeiro, F. (1990): Central Iberian Zone: Structure. En: *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. (R.D.Dallmeyer y E. Martínez García, Eds.). Springer-Verlag. Berlin: 172-183.
- IAG (2003) The IAG regional moment tensor Project. Instituto Andaluz de Geofísica. <http://www.igr.es/~iag/tensor/>
- Julivert, M., Fontboté, J., Ribeiro, A. y Navais Conde, L. E. (1972): *Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares*. Escala 1/1.000.000. Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Madrid, 113 p.